

بررسی غلظت سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم به عنوان ملاک تحمل به شوری در گندم و جو

وحید اطلسی پاک^{۱*}، امید بهمنی^۲ و مهسا اسدبگی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳)

چکیده

بیشتر تحقیقات در زمینه اصلاح گندم و جو برای تحمل به شوری عمدتاً بر غلظت سدیم بافت‌ها تأکید دارد، اما برخی اهمیت غلظت سدیم را به عنوان معیار تحمل به شوری مورد سؤال قرار داده‌اند. به منظور بررسی غلظت سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم به عنوان ملاک تحمل به شوری، سه رقم گندم نان متفاوت از لحاظ تحمل به شوری و یک رقم جو در آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار ارزیابی شدند. زمانی که برگ چهارم به حداکثر سطح خود رسید، سه سطح شوری صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم به عنوان تیمار شوری اعمال شد. شوری موجب کاهش وزن خشک ریشه، پتاسیم ریشه، پتاسیم اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی شد و غلظت سدیم ریشه و اندام هوایی را افزایش داد. سدیم اندام هوایی تحت تیمار شوری در جو و رقم متحمل گندم (ارگ) بیشتر از تجن و بهاران بود و در این آزمایش، ارتباطی بین غلظت سدیم گیاه و تحمل به شوری در رقم‌های مختلف ملاحظه نشد. نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی بیشترین پاسخ را به شوری از خود نشان داد اما اختلافی بین رقم‌های تحت تنش شوری از این نظر وجود نداشت. با توجه به اثرات شوری بر رشد ریشه، به نظر می‌رسد عامل عمده کاهش وزن خشک ریشه همه رقم‌ها اثرات اسمزی املاح است. نتایج این آزمایش نشان داد که همیشه غلظت پایین سدیم نمی‌تواند موجب تحمل به شوری شود و به نظر می‌رسد اصلاح به منظور تحمل به شوری نیاز به انتخاب به منظور غلظت پایین سدیم و دیگر واکنش‌های فیزیولوژیک که به احتمال زیاد مرتبط با تحمل بافت‌هاست دارد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، تحمل بافت‌ها، اثرات اسمزی، واکنش‌های فیزیولوژیک

۱. استادیار زراعت، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: v.atlassi@gmail.com

مقدمه

تحمل به شوری وجود دارد (۵ و ۱۶). البته در برخی ارقام متحمل جو، توانایی ریشه‌ها در حفظ پتاسیم در حد متوسط است، در صورتی که غلظت سدیم این ارقام کم است (۵). نسبت پتاسیم به سدیم به‌عنوان یک عامل مهم تحمل به شوری هم در بافت‌ها و هم در سایتوزول مد نظر قرار می‌گیرد و بخشی از سدیم تجمع یافته در بافت‌های گیاهی، می‌تواند در واکنش ذخیره شود و محفظه‌بندی عناصر سمی مثل سدیم در واکنش نیز یکی از صفات مهم تحمل به شوری محسوب می‌شود (۲، ۶ و ۱۸)، که این موضوع موجب لزوم بررسی بیشتر نسبت پتاسیم به سدیم بافت‌های گیاهی به‌عنوان ملاک تحمل به شوری می‌شود. از آنجا که به‌نظر می‌رسد گیاه جو به‌عنوان یک گیاه متحمل به شوری (۶ و ۱۶) نسبت به ارقام مختلف گندم نان در مواجهه با زیاده‌ای املاح رفتار متفاوتی از خود نشان دهد، بنابراین در این پژوهش ارقام مختلف گندم نان با گیاه متحمل جو، با هدف مقایسه عکس‌العمل آنها نسبت به افزایش سدیم محیط ریشه و ارتباط آن با تحمل به شوری بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز همدان به اجرا درآمد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و به‌صورت گلدانی اجرا شد. فاکتور اول شامل سه سطح شوری (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و فاکتور دوم شامل سه رقم گندم نان (ارگ، تجن و بهاران) و یک رقم جو (نیک) بود. رقم ارگ به‌عنوان رقم متحمل و رقم تجن به‌عنوان رقم حساس به شوری و رقم بهاران به‌عنوان رقم حد واسط (۱۹) ارزیابی شدند. دمای گلخانه در روز حدود ۲۴ و در شب ۱۶ درجه سانتی‌گراد بود. بذور سالم، هم‌اندازه و هم‌وزن، توسط هیپوکلریت یک درصد ضدعفونی شده و سپس در داخل گلدان‌ها با قطر ۲۵ سانتی‌متر که حاوی مخلوطی از خاک با بافت لومی شنی، کود دامی و ماسه (به نسبت ۱:۱:۱) بودند، کشت شد. خصوصیات خاک در جدول (۱) ارائه شده است. هر واحد آزمایشی شامل

شوری خاک مهم‌ترین معضل بخش کشاورزی است که موجب محدودیت رشد و تولید گیاهان زراعی می‌شود (۱). با افزایش شوری خاک، جذب سدیم توسط ریشه‌ها افزایش یافته و بنابراین رشد و فعالیت‌های متابولیکی گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد و راندمان فتوسنتزی کاهش می‌یابد (۸). افزایش املاح خاک باعث افزایش غلظت سدیم بافت‌ها می‌شود (۲۰) و افزایش غلظت سدیم، غلظت پتاسیم بافت‌ها را کاهش می‌دهد (۱۱)، در نتیجه نسبت پتاسیم به سدیم در بافت‌ها که یکی از خصوصیات مهم تحمل به شوری محسوب می‌شود، کاهش می‌یابد (۳). ژنوتیپ‌های دارای تحمل بافتی به سدیم بدین صورت عمل می‌کنند که سدیم اضافی را از سایتوزول به واکنش انتقال می‌دهند که در ازای آن، یون پتاسیم از واکنش خارج می‌شود، بنابراین غلظت سدیم در سایتوزول کاهش می‌یابد که خود باعث تعادل یونی (به‌ویژه سدیم و پتاسیم) و تحمل به شوری می‌شود (۱). تحت چنین شرایطی، آگاهی از رفتار گیاه و سازوکارهای تحمل به شوری ضروری به‌نظر می‌رسد (۲۶). نتایج بیشتر آزمایش‌ها نشان می‌دهد که غلظت سدیم در گندم و جو با تحمل شوری مرتبط است (۵، ۶، ۹ و ۱۳)، البته در برخی پژوهش‌ها مشخص شده است که غلظت سدیم در ارقام متحمل و حساس به شوری گندم مشابه بوده است (۹). بنابراین غلظت سدیم نمی‌تواند تنها مکانیسم تعیین‌کننده تحمل به شوری به حساب آید (۵ و ۱۰). گندم نان (هگزاپلوئید) در مقایسه با گندم‌های دوروم (تتراپلوئید) مقادیر کمتری از سدیم را در بافت‌های هوایی خود تجمع داده و در نتیجه نسبت‌های بالاتری از پتاسیم به سدیم را در آنها حفظ می‌کند (۱۲، ۱۷ و ۱۸). توانایی گیاه در حفظ نسبت‌های بالاتری از پتاسیم به سدیم به‌عنوان یک عامل مهم تحمل به شوری محسوب می‌شود (۵ و ۱۵). نسبت‌های بالای پتاسیم به سدیم می‌تواند هم از طریق کاهش غلظت سدیم و هم از طریق کاهش خروج پتاسیم از بافت‌ها به‌دست آید (۶). رابطه مثبت و معنی‌داری بین توانایی ریشه‌های جو و گندم در حفظ پتاسیم و

جدول ۱. ویژگی‌های خاک آزمایش

هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	سدیم	پتاسیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	کلسیم	منیزیم	کربن آلی (درصد)
۰/۲۷۵	۷/۶۷	۱/۹۱	۰/۰۹۲	۶/۴	۷/۲	۱/۲۴

نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفات غلظت سدیم ریشه، پتاسیم ریشه، سدیم اندام هوایی، پتاسیم اندام هوایی، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی، وزن خشک ریشه و نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری قرار گرفتند. بین ارقام گندم و گیاه جو نیز از نظر همه صفات بررسی شده تفاوت معنی‌دار وجود داشت. برهمکنش رقم و شوری تفاوت معنی‌داری را برای صفات غلظت سدیم ریشه، پتاسیم ریشه، سدیم اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی نشان داد (جدول ۲).

غلظت سدیم ریشه با افزایش شوری، افزایش معنی‌داری از خود نشان داد (جدول ۳) و رقم بهاران نسبت به رقم‌های تجن، ارگ و جو دارای سدیم کمتری در ریشه بود. در شوری ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کمترین غلظت سدیم ریشه مربوط به رقم بهاران بود. در شوری ۷۵ میلی‌مولار رقم ارگ و تجن، دارای بیشترین غلظت سدیم ریشه بودند و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مقدار این صفت در جو با رقم‌های ارگ و تجن غیر معنی‌دار شد. در بالاترین سطح شوری، بیشترین افزایش سدیم ریشه نسبت به شاهد در رقم تجن (۱۰۰ درصد) و کمترین افزایش در جو (۴۷ درصد) بود. سدیم ریشه در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار در ارقام گندم به‌طور متوسط ۷۷ درصد و در جو ۴۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). با افزایش شوری، غلظت پتاسیم ریشه کاهش یافت و رقم ارگ نسبت به رقم‌های تجن، بهاران و جو بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. در شوری

شش گلدان بود. در ابتدا در هر گلدان حدود ۱۲ بذر کشت شد. کشت در اول آبان سال ۱۳۹۵ انجام شد. پس از اطمینان از استقرار بوته‌ها، عملیات تنک انجام شد و در نهایت در هر گلدان پنج بوته باقی ماند. میزان تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در گلخانه حدود ۱۰۰۰-۹۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بود. اندازه‌گیری PAR توسط دستگاه پارسنج (Quantum Par Meter) پرتابل انجام گرفت. پس از اینکه برگ چهارم به حداکثر سطح خود رسید، تیمارهای شوری اعمال شد. پنج هفته پس از اعمال تیمارها به‌منظور اندازه‌گیری غلظت سدیم و پتاسیم، بوته‌ها برداشت شد و پس از تفکیک به ریشه و اندام هوایی با آب مقطر مورد شستشو قرار گرفته و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند. جهت تجزیه یون‌های سدیم و پتاسیم از روش اسید استیک ۰/۱ نرمال استفاده شد. در این روش ابتدا ۰/۱ گرم نمونه گیاهی آسیاب شده را درون فالكون ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۰/۱ نرمال به آن اضافه و در محیط آزمایشگاه به‌مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده شد. پس از عبور دادن نمونه‌ها از کاغذ صافی با دستگاه نشر شعله‌ای (Flame Photometer) مدل Jenway-PFP7، قرائت شد. اعمال تیمارها بر بوته‌های باقی‌مانده تا مرحله رسیدگی ادامه یافت. در پایان فصل رشد، ۲۰ بوته (۱۸ هفته پس از کاشت) باقی‌مانده در هر واحد آزمایشی به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، ریشه و عملکرد برداشت شدند. بدین منظور ابتدا ریشه از ساقه جدا شده و سپس وزن خشک کل اندام هوایی، ریشه‌ها و عملکرد محاسبه و اندازه‌گیری شد. جداسازی ریشه‌ها از خاک از طریق اشباع کردن خاک به‌همراه ریشه در آب و شستشوی ریشه با آب صورت گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سطوح مختلف شوری بر صفات مورد مطالعه در ارقام گندم و جو

منابع تغییرات	درجه آزادی	سدیم ریشه	پتاسیم ریشه	سدیم اندام هوایی	پتاسیم اندام هوایی	پتاسیم به سدیم	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	نسبت اندام هوایی به ریشه
تکرار	۲	۳۰۱۳ ^{ns}	۵۲۵ ^{ns}	۳۴۳ ^{ns}	۱۱۱۶ ^{ns}	۰/۰۵۴ ^{ns}	۲/۹۳ ^{**}	۰/۰۱۰ ^{ns}	۵/۸۸ ^{ns}
شوری	۲	۲۵۵۷۷۳ ^{**}	۱۴۶۱۷ ^{**}	۵۹۹۰۳ ^{**}	۱۸۴۸۶ ^{**}	۶/۷۸ ^{**}	۰/۳۳۴ ^{ns}	۰/۱۳۲ ^{**}	۵۲/۳ ^{**}
رقم	۳	۴۷۳۶۵ ^{**}	۸۴۳۹ ^{**}	۱۵۳۴۴ ^{**}	۲۰۹۹۵ ^{**}	۱/۳۴ ^{**}	۵/۰۹ ^{**}	۰/۰۸۵ ^{**}	۱۴/۸ [*]
شوری × رقم	۶	۱۳۴۹۴ ^{**}	۳۲۵۷ ^{**}	۴۰۳۷ ^{**}	۲۲۳۴ ^{ns}	۰/۶۷ ^{**}	۰/۲۲۷ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۵/۰۴ ^{ns}
خطا	۲۲	۱۹۶۹	۳۷۹	۴۸۳	۱۰۵۸	۰/۰۸	۰/۳۲۹	۰/۰۰۵	۴/۱۶
ضریب تغییرات		۷/۷	۹/۶	۱۹	۹/۹	۱۹	۱۶/۲	۱۵/۷	۲۱/۸

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف شوری و رقم بر صفات مورد مطالعه

تیمار	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گیاه)	وزن خشک ریشه	نسبت اندام هوایی به ریشه	پتاسیم اندام هوایی (میکرومول بر گرم ماده خشک)
شوری (میلی مولار)				
صفر	۳/۴۱ ^a	۰/۵۶ ^a	۶ ^b	۳۷۱ ^a
۷۵	۳/۷۳ ^a	۰/۵۰ ^a	۷/۵ ^b	۳۰۴ ^b
۱۵۰	۳/۴۷ ^a	۰/۳۶ ^b	۱۰/۱ ^a	۳۰۲ ^b
رقم				
بهاران	۳/۰۰ ^b	۰/۴۷ ^b	۶/۵ ^b	۲۹۳ ^c
تجن	۲/۸۳ ^b	۰/۳۴ ^c	۹ ^a	۲۸۸ ^c
ارگ	۳/۸۹ ^a	۰/۵۷ ^a	۷/۱۱ ^{ab}	۳۹۳ ^a
جو (نیک)	۳/۴۳ ^a	۰/۵۲ ^{ab}	۸/۹ ^a	۳۲۸ ^b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در هر تیمار براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی دار نیستند.

سطح شوری برخلاف انتظار رقم متحمل ارگ افزایش بیشتری (۱۷۲ درصد) نسبت به رقم‌های بهاران (۵۸ درصد)، تجن (۱۲۸ درصد) و جو (۲۷ درصد) داشت. غلظت سدیم اندام هوایی نیز در شرایط بدون شوری در جو نسبت به رقم‌های گندم بیشتر بود اما در شوری ۱۵۰ میلی مولار به طور متوسط در رقم‌های گندم ۱۱۹ ولی در جو ۲۷ درصد افزایش داشت (جدول ۴). پتاسیم اندام هوایی در تیمارهای شوری نسبت به شاهد کاهش

۷۵ میلی مولار در رقم تجن و جو، کاهش معنی داری در غلظت پتاسیم ملاحظه نشد اما رقم بهاران دارای کاهش و رقم ارگ دارای افزایش معنی داری از این نظر بودند (جدول ۴). در شوری ۱۵۰ میلی مولار نسبت به شاهد، پتاسیم ریشه در رقم‌های بهاران (۵۵ درصد)، تجن (۲۰ درصد) و جو (۳۹ درصد) دارای کاهش ولی در رقم ارگ بدون تغییر بود. غلظت سدیم اندام هوایی با افزایش شوری افزایش یافت و در بالاترین

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش شوری و رقم برای صفات مورد مطالعه

تیمار	سدیم ریشه / پتاسیم ریشه / سدیم اندام هوایی			نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی
	(میکرومول بر گرم ماده خشک)			
بهاران	صفر	۳۴۷ ^d	۲۶۲ ^{ab}	۱۸۸ ^e
	۷۵	۴۹۶ ^c	۱۸۷ ^e	۲۴۶ ^{cd}
	۱۵۰	۵۹۳ ^b	۱۱۹ ^f	۲۹۸ ^b
تجن	صفر	۳۶۲ ^d	۲۴۲ ^{bc}	۱۲۳ ^f
	۷۵	۷۱۴ ^a	۲۲۴ ^{cd}	۲۴۰ ^d
	۱۵۰	۷۳۸ ^a	۱۹۶ ^{de}	۲۸۱ ^{bc}
ارگ	صفر	۴۴۱ ^c	۲۲۹ ^{bcd}	۱۲۶ ^f
	۷۵	۷۳۶ ^a	۲۷۵ ^a	۲۶۹ ^{bcd}
	۱۵۰	۷۰۰ ^a	۲۲۹ ^{bcd}	۳۴۳ ^a
جو (نیک)	صفر	۴۹۰ ^c	۲۱۳ ^{cde}	۲۸۷ ^b
	۷۵	۵۹۲ ^b	۱۸۷ ^e	۲۸۷ ^b
	۱۵۰	۷۲۱ ^a	۱۳۰ ^f	۳۶۵ ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

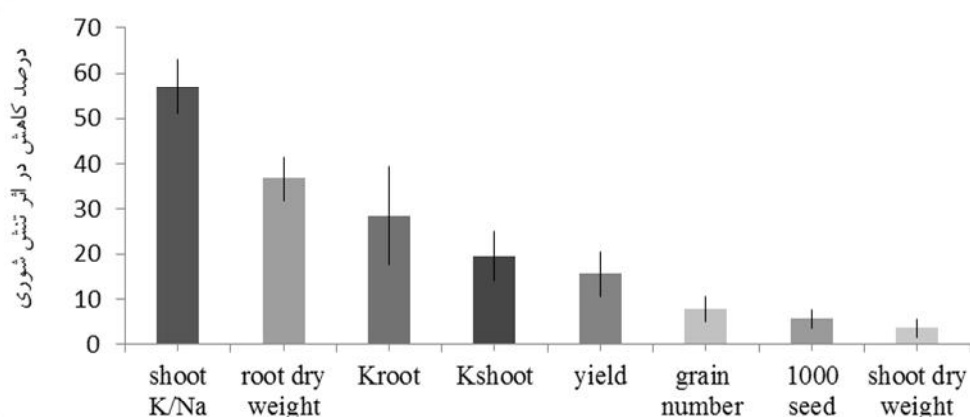
(شکل ۱). نتایج نشان داد شش هفته پس از اعمال تیمار شوری وزن خشک اندام هوایی در همه رقم‌ها بدون تغییر بود و هیچ یک از سطوح شوری موجب کاهش آن نشد (جدول ۳). در بین صفات مورد بررسی، شوری کمترین تأثیر را بر وزن خشک اندام هوایی داشت (شکل ۱). وزن خشک ریشه تحت تأثیر شوری قرار گرفت اما در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار، کاهش معنی‌داری از این نظر در رقم‌ها ملاحظه نشد.

وزن خشک ریشه در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار در همه رقم‌ها کاهش معنی‌داری از خود نشان داد و بیشترین کاهش در رقم تجن (۵۰ درصد) و کمترین کاهش در بهاران (۲۴/۵ درصد) به دست آمد. نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه با افزایش شوری افزایش یافت و این افزایش در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار معنی‌دار بود (جدول ۳). نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار در رقم تجن افزایش قابل ملاحظه‌ای (۱۲۹ درصد) از خود نشان داد، در حالی که رقم‌های بهاران، ارگ و جو در این سطح از

یافت و بین سطح شوری ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری ملاحظه نشد. در بین رقم‌ها نیز رقم ارگ دارای بیشترین غلظت پتاسیم اندام هوایی بوده و جو در مرتبه بعدی قرار گرفت (جدول ۳). پتاسیم اندام هوایی در رقم ارگ با افزایش شوری، کاهش معنی‌داری از خود نشان نداد.

در شوری ۷۵ میلی‌مولار نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در هر سه رقم گندم کاهش معنی‌داری داشت اما در جو این کاهش غیرمعنی‌دار بود. در این سطح از شوری بیشترین کاهش در رقم تجن (۶۶ درصد) و ارگ (۵۸ درصد) و کمترین کاهش در جو (۲۳ درصد) مشاهده شد (جدول ۴). با وجود متحمل بودن رقم ارگ، کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در شوری ۷۵ میلی‌مولار در این رقم بیشتر از رقم بهاران (۳۳ درصد) بود. کاهش این نسبت در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار در رقم‌های گندم به‌طور متوسط ۶۲ درصد و در جو ۴۰ درصد بود.

نتایج آزمایش نشان داد در بین صفات مختلف، نسبت پتاسیم به سدیم بیشترین تغییر را (۵۷ درصد) از خود نشان داد



شکل ۱. میانگین درصد کاهش صفات رقم‌های گندم و جو تحت تأثیر تنش شوری (۱۵۰ میلی‌مولار). میانگین‌های دارای همپوشانی براساس خطای استاندارد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

شوری در حدود ۵۰ درصد افزایش داشتند (جدول ۴).

بحث

با وجود اینکه محققان غلظت سدیم را به‌عنوان یکی از ملاک‌های تحمل به شوری معرفی کرده‌اند (۱۵ و ۲۶)، در این آزمایش تحمل به شوری در رقم‌های مورد مطالعه با غلظت کمتر سدیم همراه نبود. رقم متحمل ارگ برخلاف انتظار در این آزمایش دارای سدیم بیشتری در ریشه و اندام هوایی بود. نتایج این آزمایش نشان داد که علاوه بر غلظت سدیم، خصوصیات دیگری می‌توانند موجب بهبود تحمل به شوری شوند که به‌نظر می‌رسد در این آزمایش تحمل بافت‌ها یکی از عوامل مهم تحمل به شوری است. از آنجا که در این آزمایش تحت تیمار شوری، ارقام مختلف دارای غلظت سدیم متفاوت در اندام هوایی و ریشه هستند و وزن خشک اندام هوایی در همه ارقام تغییر معنی‌داری در سطوح مختلف شوری نداشته است و همچنین رقم تاجن و بهاران دارای غلظت کمتری از سدیم نسبت به رقم ارگ و گیاه جو بودند، بنابراین صفت غلظت سدیم نسبت به تحمل بافت‌ها در اولویت بعدی قرار گرفته است، بدین معنی که این صفت را نمی‌توان عامل تعیین‌کننده تحمل به شوری در این آزمایش به حساب آورد. با توجه به اینکه غلظت سدیم اندام هوایی در رقم ارگ و گیاه جو بالاتر از

در رقم دیگر بوده و در همه ارقام وزن خشک اندام هوایی تحت تنش شوری بدون تغییر بوده است، به‌نظر می‌رسد تحمل بافت‌ها در آنها بیشتر بوده است. با وجود اینکه در بیشتر تحقیقات غلظت کمتر سدیم در گندم و جو عامل تحمل معرفی شده است (۳ و ۲۴) اما در برخی آزمایش‌ها تحمل بافت‌ها به‌عنوان عامل تحمل به شوری شناخته شده است (۱۰). غلظت سدیم در رقم‌های متفاوت از لحاظ تحمل به شوری در این آزمایش نشان داد، میزان تحمل بافت‌ها به شوری تعیین‌کننده تحمل رقم‌ها است. رقم حد واسط (از لحاظ تحمل به شوری) گندم بهاران کمترین غلظت سدیم را در بافت ریشه از خود نشان داد و پایین بودن غلظت سدیم اندام هوایی در آن نسبت به رقم ارگ و جو، نشان می‌دهد غلظت سدیم، به‌عنوان یک مکانیسم مهم و اولیه می‌تواند در تحمل به شوری نقش داشته باشد (۳). بهبود ژرم پلاسماهای متحمل به شوری از طریق انتخاب براساس غلظت سدیم می‌تواند تسریع یابد (۱۰). مقایسه غلظت سدیم ریشه و اندام هوایی در این آزمایش نشان داد در رقم تاجن، سدیم به مقدار کمتری از ریشه‌ها به اندام هوایی منتقل شده است و از این طریق مانع از تجمع این یون سمی در این بافت‌ها گشته است. تجمع بیشتر سدیم در ریشه برخی از رقم‌های گندم و ممانعت از رسیدن آن به سلول‌های فتوسنتز کننده و برگ‌های جوان به‌عنوان یکی از عوامل تحمل

جدول ۵. همبستگی بین صفات مورد مطالعه

ماده خشک اندام هوایی	پتاسیم ریشه	سدیم ریشه	پتاسیم اندام هوایی	سدیم اندام هوایی	سدیم/پتاسیم اندام هوایی
ماده خشک اندام هوایی	۱				
پتاسیم ریشه	۰/۰۸۸ ^{NS}	۱			
سدیم ریشه	۰/۲۴۳ ^{NS}	۰/۲۱۵ ^{NS}	۱		
پتاسیم اندام هوایی	۰/۱۶۹ ^{NS}	۰/۴۷۹ ^{**}	۰/۲۵۸ ^{NS}	۱	
سدیم اندام هوایی	۰/۳۰۱ ^{NS}	۰/۴۷۳ ^{**}	۰/۶۹۴ ^{**}	۰/۱۹۳ ^{NS}	۱
سدیم/پتاسیم اندام هوایی	۰/۲۰۶ ^{NS}	۰/۴۴۲ ^{**}	۰/۶۲۳ ^{**}	۰/۵۷۲ ^{**}	۰/۸۴۸ ^{**}

* و ** به ترتیب نشان دهنده همبستگی معنی دار در سطح پنج و یک درصد است.

توسط محققان (۱۰) گزارش شده است. وجود همبستگی مثبت و معنی دار ($r = 0/572$) بین غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و از طرفی همبستگی منفی و معنی دار بین غلظت سدیم اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی ($r = -0/848$) نشان داد که تجمع کمتر سدیم در اندام هوایی و حفظ پتاسیم بیشتر، موجب افزایش این نسبت خواهد شد. مقایسه غلظت سدیم اندام هوایی در جو با رقم های گندم و افزایش کمتر غلظت سدیم در جو (۲۷ درصد) در مقایسه با رقم های گندم (۱۱۹ درصد) در بالاترین سطح شوری در این آزمایش نشان داد که ضمن تحمل بالای بافت های جو نسبت به سدیم، این گیاه با افزایش سدیم محیط ریشه ممانعت بیشتری در ورود این عنصر سمی به بافت های خود در مقایسه با گندم ایجاد می کند. تحمل بالای بافت ها در گیاه جو نسبت به گندم در تحقیقات متعددی مورد تأیید قرار گرفته است (۱۶). افزایش محفظه بندی سدیم در واکوئل برخی ارقام گندم، موجب افزایش تحمل به شوری می شود، از این رو، این ارقام ممکن است سدیم بیشتری را نسبت به ارقام حساس در اندام هوایی خود تجمع دهند (۱۵). افزایش بیشتر تجمع سدیم در اندام هوایی برخی ارقام متحمل گندم نسبت به ارقام حساس در برخی آزمایش ها نشان داده شده است (۱۰). تجمع بیشتر پتاسیم در ریشه رقم ارگ نسبت به تجن و بهاران نشان می دهد که رقم متحمل، توانایی بیشتری در جذب پتاسیم نسبت به رقم حساس داشته

است (۱۰)، با این حال به نظر می رسد تحمل پایین بافت ها در این رقم (تجن)، منجر به تحمل پایین این رقم به شوری می شود. اگرچه در شرایط بدون شوری، غلظت سدیم ریشه در گیاه جو به طور متوسط بیشتر از رقم های گندم بود، اما پایین بودن درصد افزایش سدیم ریشه در شوری ۱۵۰ میلی مولار نسبت به شاهد در مقایسه با رقم های گندم نشان می دهد که گیاه جو در مقابله با افزایش شوری ممانعت بیشتری در ورود سدیم به ریشه از خود نشان داده است و به تبع آن درصد افزایش غلظت سدیم اندام هوایی در جو نسبت به رقم های گندم در این سطح از شوری به طور چشمگیری پایین تر بوده است. تنش شوری موجب کاهش غلظت پتاسیم ریشه و اندام هوایی شد اما هیچ گونه همبستگی بین غلظت سدیم و پتاسیم بافت ها در این آزمایش مشاهده نشد (جدول ۵). رقم ارگ و جو توانستند پتاسیم بیشتری در اندام هوایی خود تحت تنش شوری تجمع دهند. محققان معتقدند که تحمل به شوری در گیاه جو (۶) و گندم (۲۱) با توانایی آنها در حفظ مقادیر بیشتر پتاسیم در بافت های هوایی مرتبط است. غلظت بالاتر سدیم ریشه جذب پتاسیم را محدود می کند و جذب سدیم با پتاسیم رقابت کرده و کاهش جذب آن را در ریشه را به دنبال دارد (۲۳). افزایش غلظت پتاسیم در بافت های گندم تحت مقادیر متوسط شوری گزارش شده است (۲۱ و ۲۳). عدم وجود همبستگی بین غلظت های سدیم و پتاسیم بافت های گندم

به‌عنوان ملاک انتخاب جهت تحمل به شوری در گندم و جو معرفی شده است (۲۱، ۲۲ و ۲۴). محققان شوری ۱۵۰ میلی‌مولار را غلظت مطلوبی جهت بروز اختلاف در رشد ریشه رقم‌های گندم و جو معرفی کرده‌اند (۲۲ و ۲۴). با توجه به عدم کاهش وزن خشک اندام هوایی به‌نظر می‌رسد در این آزمایش فراهمی اسیمیلات در اندام هوایی عامل کاهش رشد ریشه‌ها نبوده است. به عقیده محققان کاهش رشد ریشه در سطوح متوسط و بالای شوری عمدتاً به‌دلیل اثرات اسمزی املاح است (۱۵ و ۲۲). از آنجا که در این آزمایش با افزایش شوری رشد ریشه نسبت به اندام هوایی کاهش بیشتری داشته است، نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه دارای روند افزایشی بود. با توجه به کاهش بیشتر رشد ریشه در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار در رقم تجن نسبت به رقم‌های دیگر و عدم تغییر وزن خشک اندام هوایی در این سطح از شوری در هر چهار رقم بیشترین افزایش (۱۲۹ درصد) در نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه در رقم تجن به‌دست آمد. محققان دیگر نیز نتایج مشابهی مبنی بر کاهش بیشتر وزن خشک ریشه نسبت به اندام هوایی و افزایش نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه تحت تنش شوری گزارش کرده‌اند (۲ و ۲۲). با توجه به کاهش ۳۷ درصدی وزن خشک ریشه رقم‌های گندم در مقایسه با کاهش ۳۴ درصدی وزن خشک ریشه جو و مقایسه غلظت سدیم ریشه آنها و نیز تحمل بالای بافت‌ها در جو نسبت به گندم (۶)، به‌نظر می‌رسد در این آزمایش عامل عمده کاهش رشد ریشه اثرات اسمزی املاح بوده است و گیاه جو نیز مانند رقم‌های گندم عکس‌العمل مشابهی به تنش اسمزی حاصل از املاح نشان داده است. تحقیقات نشان داده است که کاربرد مانیتول (زمانی که اثرات اسمزی مشابهی اعمال کرده است) و کلرید سدیم اثرات مشابهی در کاهش رشد ریشه داشته که این موضوع نشان می‌دهد که عامل محدود کننده رشد ریشه عمدتاً اثرات اسمزی املاح است (۲۵ و ۲۷). بعد از نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی، ماده خشک ریشه بیشترین تغییر را در بالاترین سطح شوری از خود نشان داد (شکل ۱). برخلاف انتظار در این آزمایش ارتباطی بین

است. جو در مقایسه با رقم تجن و بهاران غلظت پتاسیم اندام هوایی را به مقدار بیشتری حفظ کرد. افزایش کمتر سدیم اندام هوایی نسبت به رقم ارگ و حفظ بیشتر پتاسیم نسبت به تجن و بهاران در جو تحت تنش شوری موجب کاهش کمتر نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی شد اما مقدار آن در همه رقم‌ها تحت تیمار شوری اختلاف معنی‌داری از خود نشان نداد. بنابراین بر خلاف نتایج تحقیقات گذشته (۴، ۱۵، ۱۷ و ۲۱) از این صفت نمی‌توان به‌عنوان معیاری به‌منظور تحمل به شوری در همه رقم‌ها بهره‌گیری کرد. به گفته محققان نسبت پتاسیم به سدیم در سیتوسول سلول‌های بافت‌های هوایی، معیار مناسب‌تری جهت ارزیابی تحمل به شوری است و بررسی این نسبت در اندام هوایی می‌تواند گمراه‌کننده باشد چون بخشی از سدیم تجمع یافته در بافت‌های گیاهی می‌تواند در واکوئل ذخیره شود (۵ و ۱۸). زمانی می‌توان از این نسبت در انتخاب به‌منظور تحمل به شوری استفاده کرد که همبستگی بین غلظت‌های پتاسیم و سدیم اندام هوایی، منفی است و این زمانی اتفاق می‌افتد که رقم‌ها تحت سطوح بالای شوری قرار گیرند (۱۰). با این وجود در این آزمایش، این نسبت حساس‌ترین صفت نسبت به تنش شوری بود که دلیل آن به‌هم خوردن تعادل یونی و در نتیجه افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم بافت‌ها تحت تنش شوری است (۱۵). با وجود اینکه در آزمایش‌ها بر ارتباط بین ماده خشک اندام هوایی و غلظت سدیم تأکید شده است (۲۱ و ۲۲) اما در این آزمایش ارتباط منفی بین غلظت سدیم اندام هوایی و مقدار ماده خشک ملاحظه نشد (جدول ۴). نتایج این آزمایش نشان داد که غلظت سدیم در بافت‌های هوایی می‌تواند تحت تأثیر دیگر صفات فیزیولوژیک مانند تحمل بافت‌ها قرار گیرد. نتایج جنک و همکاران (۱۰) و چن و همکاران (۶) تأیید کننده نتایج این آزمایش است. وزن خشک ریشه در همه رقم‌ها با افزایش شوری دارای روند کاهشی بود. کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک ریشه در رقم تجن در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، نشان داد که از این صفت می‌توان به‌عنوان معیار مهمی جهت بهبود تحمل به شوری استفاده کرد. در تحقیقات متعددی وزن خشک ریشه

سدیم، واکنش‌های فیزیولوژیک دیگری که به احتمال زیاد مرتبط با تحمل بافت‌هاست می‌تواند عامل تحمل به شوری باشد. در گیاه جو نسبت به گندم، تحمل بافت‌ها عامل مهمی در ایجاد تحمل این گیاه به شوری است. تفاوت موجود بین رقم‌های گندم به لحاظ تحمل بافت‌ها می‌تواند تفاوت آنها را در تحمل به شوری آشکار سازد. از صفت نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی نمی‌توان همیشه در گزینش ارقام به منظور تحمل به شوری بهره‌گیری کرد، چنانچه در گیاه متحمل جو نیز نسبت به رقم‌های گندم، این صفت دارای برتری نیست. اگر تحمل بافت‌ها در رقم‌های مختلف نسبت به املاح بالا باشد، می‌تواند باعث جبران غلظت بیشتر سدیم شود و گیاه را نسبت به شوری متحمل سازد. بنابراین توسعه رقم‌هایی با تحمل بالای بافت‌ها نسبت به عناصر سمی به‌ویژه سدیم و نیز تحمل بالای اسمزی در اراضی شور، امری ضروری به نظر می‌رسد.

غلظت سدیم اندام هوایی و عملکرد دانه مشاهده نشد. این موضوع نشان می‌دهد که در ایجاد تحمل به شوری، غلظت سدیم اندام هوایی می‌تواند با وجود برخی واکنش‌های فیزیولوژیک که احتمالاً مرتبط با تحمل بافت‌ها است، در اولویت بعدی قرار گیرد. بالاتر بودن غلظت سدیم اندام هوایی در جو، نسبت به رقم‌های تجن و بهاران و عدم کاهش وزن خشک اندام هوایی در جو، تأییدی بر تحمل بیشتر بافت‌ها در جو نسبت به رقم‌های گندم در این آزمایش است. محققان معتقدند زمانی که رقم‌ها، دارای تحمل بافت یکسانی در مقابله با شوری هستند، غلظت کمتر سدیم می‌تواند تحمل شوری را بهبود دهد و اگر تحمل بافت‌ها نسبت به املاح بیشتر باشد، می‌تواند باعث جبران غلظت بالای سدیم شود و گیاه را نسبت به شوری متحمل سازد (۱۰).

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که علاوه بر غلظت

منابع مورد استفاده

1. Arzani, A. and M. Ashraf. 2016. Smart engineering of genetic resources for enhanced salinity tolerance in crop plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 35: 146-189.
2. Atlasi Pak, V. and O. Bahmani. 2017. Evaluation of ion distribution in different tissues of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Crop Production and Processing* 7(1): 1-16. (In Farsi).
3. Byrt, C. S., B. Xu, M. Krishnan, D. J. Lightfoot, A. Athman, A. K. Jacobs, N. S. Watson-Haigh, D. Plett, R. Munns, M. Tester and M. Gilliam. 2014. The Na⁺ transporter, TaHKT1; 5-D, limits shoot Na⁺ accumulation in bread wheat. *The Plant Journal* 80: 516-526.
4. Cuin, T. A., Y. Tian, S. A. Betts, R. Chalmandrier and S. Shabala. 2009. Ionic relation and osmotic adjustment in durum and bread wheat under saline conditions. *Functional Plant Biology* 36: 1110-1119.
5. Chen, Z., I. Neman, M. Zhou, M. Mendham, G. Zhang and S. Shabala. 2005. Screening plants for salt tolerance by measuring K flux: a case study for barley. *Plant, Cell and Environment* 28: 1230-1246.
6. Chen, Z., M. Zhu, I. Newman, M. Mendham, G. Zhang and S. Shabala. 2007. Potassium and sodium relations in salinized barley tissues as a basis of differential salt tolerance. *Functional Plant Biology* 34:150-162.
7. Davenport, R., R. A. James, A. Z. Plogander, M. Tester and R. Munns. 2005. Control of sodium transport in durum wheat. *Plant Physiology* 137: 807-818.
8. Deinlein, U., A. Stephan, T. Horie, W. Luo, G. Xu and J. I. Schroeder. 2014. Plant salt tolerance mechanisms. *Trends in Plant Science* 14: 1-9.
9. Garthwaite A. J., R. Von Bothmer and T. D. Colmer. 2005. Salt tolerance in wild *Hordeum* species is associated with restricted entry of Na⁺ and Cl⁻ into the shoots. *Journal of Experimental Botany* 56: 2365-2378.
10. Genc, Y., G. McDonald and M. Tester. 2007. Reassessment of tissue Na⁺ concentration as a criterion for salinity tolerance in bread wheat. *Plant, Cell and Environment* 30: 1486-1498.
11. Hauser, F. and T. Horie. 2010. A conserved primary salt tolerance mechanism mediated by HKT transporters: a mechanism for sodium exclusion and maintenance of high K⁺/Na⁺ ratio in leaves during salinity stress. *Plant, Cell and Environment* 33: 552-565.
12. Houshmand, S., A. Arzani and S. A. M. Maibody. 2005. Evaluation of salt-tolerant genotypes of durum wheat selected from in vitro and field experiments. *Field Crops Research* 91: 345-354.

13. James, R. A., C. Blake, C. S. Byrt and R. Munns. 2011. Major genes for Na⁺ exclusion, Nax1 and Nax2 (Wheat HKT1;4 and HKT1;5), decrease sodium accumulation in bread wheat leaves under saline and waterlogged conditions. *Journal of Experimental Botany* 62(8): 2939-2947.
14. Megan, S. and U. Roessner. 2013. Advances in functional genomics for investigating salinity stress tolerance mechanisms in cereals. *Plant Science* 4: 1-9.
15. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanism of Salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
16. Munns, R., A. R. Islam, T. D. Colmer and R. James. 2011. *Hordeum marinum* wheat amphiploids maintain higher leaf K⁺/Na⁺ and suffer less leaf injury than wheat parents in saline conditions. *Plant and Soil* 348: 365-377.
17. Munns, R., R. A. James, B. Xu, A. Athman, S. J. Conn, C. Jordans, C. S. Byrt, R. Hare, A., S. D. Tyerman, M. Tester, D. Plett and M. Gilliam. 2012. Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral Na⁺ transporter gene. *Nature Biotechnology* 30(4): 360-366.
18. Munns, R., R. James, M. Gilliam, T. J. Flowers and T. D. Colmer. 2016. Tissue tolerance: an essential but elusive trait for salt-tolerant crops. *Functional Plant Biology* 43: 1103-1113.
19. Poustini, K. and A. Siosemardeh. 2004. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research* 85: 125-133
20. Rahnema, A., R. James, K. Poustini and R. Munns. 2010. Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. *Functional Plant Biology* 37: 255-263.
21. Rahnema, A., K. Poustini, R. Tavakkol-Afshari and H. Alizadeh. 2011. Growth properties and ion distribution in different tissues of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) differing in salt tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 21-30.
22. Rahnema, A., R. Munns, K. Poustini and M. Watt. 2011. A Screening method to identify genetic variation in root growth response to a salinity gradient. *Journal of Experimental Botany* 62: 69-77.
23. Shabala, S. and T. A. Cuin. 2007. Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiologia Plantarum* 133: 651-669.
24. Shelden, M., U. Roessner, R. E. Sharp, M. Tester and A. Bacic. 2013. Genetic variation in the root growth response of barley genotypes to salinity stress. *Functional Plant Biology* 40: 516-530.
25. Sun, F. F., W. S. Zhang, H. Z. HU, B. Li, Y. N. Wang, Y. K. Zhao, K. X. Li, M. Y. Liu and X. Li. 2008. Salt modulates gravity signaling pathway to regulate growth direction of primary roots in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* 146: 178-188.
26. Zhu, M., L. Shabala, T. A. Cuin, X. Huang, M. Zhou, R. Munns and S. Shabala. 2016. Nax loci affect SOS1-Like Na⁺/H⁺ exchanger expression and activity in wheat. *Journal of Experimental Botany* 67(3): 835-844.
27. Zolla, G., Y. M. Heimer and S. Barak. 2010. Mild salinity stimulates a Stressed-induced morphogenic response in *Arabidopsis thaliana* roots. *Journal of Experimental Botany* 61: 211-224.

Evaluation of Na⁺ Concentration and K⁺/Na⁺ Ratio as A Criterion for Salinity Tolerance in Wheat and Barley

V. Atlassi Pak^{1*}, O. Bahmani² and M. Asadbegy³

(Received: October 20-2017; Accepted: February 12-2018)

Abstract

Most researches on wheat and barley breeding for salt tolerance have focused mainly on excluding Na⁺ from different tissues but the results of some experiments suggest that contribution of Na⁺ exclusion to salt tolerance is overshadowed by other physiological responses. Three bread wheat cultivars differing in salt tolerance (Arg, Tajan and Baharan) and one barley cultivar (Nik) were employed to assess tissues Na⁺ concentration and K⁺/Na⁺ ratios as a criterion for salt tolerance using a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications. Three levels of NaCl (0, 75 and 150 mM NaCl) were imposed as the salinity treatment when the leaf 4 was fully expanded. Salinity decreased root dry weight, root K⁺, shoot K⁺ and shoot K⁺/Na⁺ ratio and increased root and shoot Na⁺. Shoot Na⁺ concentrations of barley and salt tolerant cultivar of wheat (Arg) were greater than Tajan and Baharan under salinity stress. There was no meaningful relationship between Na⁺ exclusion and salt tolerance in the examined wheat cultivars and Nik barley cultivar. Shoot K⁺/Na⁺ ratio was found to be the most responsive trait to salinity and no significant differences were observed between the wheat cultivars and Nik barley cultivar under salinity conditions in this aspect. Given the negative effects of salinity on root growth, it seemed that the major factor in root dry weight losses of the present wheat cultivars and Nik barley cultivar was due, mainly, to the osmotic effect of salt. The results of this experiment suggest that Na⁺ exclusion does not necessarily confer salt tolerance. It, hence, seems breeding for salt tolerance needs to select for traits related to both Na⁺ exclusion and other physiological responses, most likely those associated with tissue tolerance.

Keywords: Salt stress, Tissue tolerance, Osmotic effects, Physiological reactions

-
1. Assistance Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.
 2. Assistance Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
 3. MSc. Student, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
- *: Corresponding Author, Email: V.atlassi@gmail.com